



PARÁMETROS REPRODUCTIVOS EN LA PRODUCCIÓN DE CRÍAS TILAPIA *Oreochromis niloticus*: REVISIÓN

REPRODUCTIVE PARAMETERS IN THE FINGERLING PRODUCTION OF TILAPIA *Oreochromis niloticus*: REVIEW

Leonardo Reyes-Trigueros¹, María del Carmen Monroy-Dosta², Erika
Torres-Ochoa¹, Alejandro De Jesús Cortés-Sánchez³ y Luis Daniel
Espinosa-Chaurand^{*4}

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur. Departamento Académico de Ingeniería en Pesquerías. Carretera al sur Km 5.5. Colonia El Mezquitito. C.P. 23080. La Paz, Baja California Sur, México.

²Unidad Xochimilco, Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento El Hombre y su Ambiente. CP. 04960, Ciudad de México, México.

³CONACYT. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, Departamento de Ciencias de la Alimentación, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Av. de las Garzas 10, Col. El panteón, C.P. 52005, Lerma de Villada, Estado de México, México.

⁴Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (UNCIBNOR+). Calle Dos No. 23. Ciudad del Conocimiento. Cd. Industrial. Av. Emilio M. González, C.P., 63173. Tepic, Nayarit, México.

*Autor para correspondencia: lespinosa@cibnor.mx

Manuscrito recibido el 16 de agosto de 2022. Aceptado, tras revisión, el 19 de octubre de 2022. Publicado el 1 de septiembre de 2023.

Resumen

La acuicultura contribuye de manera importante a la fuente de alimento destinado al consumo humano. La tilapia *Oreochromis niloticus* es uno de los peces principales de la producción acuícola, por lo que las fases de su reproducción son vitales para asegurar la calidad y cantidad de organismos disponibles para los sistemas de producción. Los parámetros reproductivos en actividades acuícolas de peces, como la fertilidad, fecundidad, diámetro de huevos, índice gonadosomático, tasa de supervivencia en larvas y alevines, entre otros, son de relevancia para una producción económicamente rentable y sostenible, y estos pueden variar según la dieta, condiciones ambientales, edad, características genéticas de los peces o la calidad del agua. Por lo anterior, este documento tiene como objetivo identificar los parámetros reproductivos que tengan una influencia en la producción de crías de tilapia presentar una descripción general de forma sencilla los diferentes parámetros reproductivos involucrados y de consideración en actividades de producción acuícola de crías de tilapia. Se realizó una búsqueda de la información en los últimos 20 años incorporada en diversas bases de datos especializadas. En esta investigación se recopila la información a la actualidad sobre los parámetros reproductivos en tilapia, y los resultados indican que no existe un parámetro reproductivo más importante que otro, ya que es un cúmulo de factores y sinergia que intervienen en la reproducción, por lo que resulta necesario establecer planes de manejo claro e investigación particular en los sistemas de producción para mejorar y potencializar su producción. El conocimiento de los parámetros reproductivos de la tilapia puede ayudar a disminuir los costos

de producción para establecer planes de manejo claro e investigación particular en los sistemas de producción para mejorar y potencializar su producción.

Palabras clave: Reproducción, producción de crías, fertilidad, fecundidad, alevines.

Abstract

Aquaculture contributes significantly to the food source for human consumption. Tilapia *Oreochromis niloticus* is one of the main fish in aquaculture production, so its reproduction phases are vital to ensure the quality and quantity of organisms available for production systems. The reproductive parameters in fish aquaculture activities, such as fertility, fecundity, egg diameter, gonadosomatic index, survival rate in larvae and fingerlings, among others, are relevant for an economically profitable and sustainable production, and these can vary according to the diet, environmental conditions, age, genetic characteristics of the fish or the quality of the water. Therefore, this document aims to identify the reproductive parameters that influence on the production of fingerlings tilapia to present a general description in a simple way of the different reproductive parameters involved in aquaculture production activities of fingerlings tilapia. A search of the information in the last 20 years incorporated in various specialized databases was carried out. In this research, information is compiled to date on the reproductive parameters in tilapia, the results indicate that there is no more important reproductive parameter than another, since it is a cluster of factors and synergy that intervene in reproduction, hence it is necessary to establish clear management plans and research in the production systems to improve and enhance their production. Knowing the reproductive parameters of tilapia can help reduce production costs, thus it is necessary to establish clear management plans and research in production systems to improve and enhance their production.

Keywords: Reproduction, fingerlings production, fertility, fecundity, fingerlings.

Forma sugerida de citar: Reyes-Trigueros, L., Monroy-Dosta, M., Torres-Ochoa, E., Cortés-Sánchez, A. y Espinosa-Chaurand, L. (2023). Parámetros reproductivos en la producción de crías tilapia *Oreochromis niloticus*: revisión. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 38(2):124-137. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.09>.

IDs Orcid:

Leonardo Reyes-Trigueros: <http://orcid.org/0000-0003-3218-4417>
María del Carmen Monroy-Dosta: <http://orcid.org/0000-0002-1856-0511>
Erika Torres-Ochoa: <http://orcid.org/0000-0001-5252-7187>
Alejandro De Jesús Cortés-Sánchez: <http://orcid.org/0000-0002-1254-8941>
Luis Daniel Espinosa-Chaurand: <http://orcid.org/0000-0002-0587-5549>

1 Introducción

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) en los últimos años se ha convertido en México en una especie de gran importancia económica; en el 2018 se reportó una producción por encima de 168 mil toneladas de peso vivo (CONAPESCA, 2018). La tilapia es un organismo favorable para la acuicultura debido a sus características, como su amplio intervalo de tolerancia a las variaciones ambientales, su fácil reproducción y su posibilidad de cultivarse (El-Sayed, 2016). El cultivo de tilapia puede y ha sido la respuesta ante la producción de alimentos de alta calidad a bajo costo a nivel rural.

El comportamiento reproductivo de estos peces lo diferencia de otros, pues en general la actividad reproductiva de las tilapias del género *Oreochromis* se lleva a cabo durante todo el año si las condiciones ambientales lo permiten, mostrando una reproducción precoz (Vega-Villasante y col., 2009), ya que la maduración sexual ocurre a tallas por debajo de la talla comercial de 250 g aproximadamente, entre 50 a 100 g (El-Sayed, 2016). Se observan diferencias de crecimiento entre macho y hembra, ya que el macho presenta mayor tasa de crecimiento y mayor eficiencia en la tasa de conversión alimenticia. Por tal motivo, la aplicación de tratamientos hormonales a alevines recién eclosionados ha permitido optimizar los rendimientos de biomasa obtenidos a escala comercial.

A nivel práctico no es recomendable subestimar la importancia de los estímulos ambientales sobre la reproducción de la tilapia, como el fotoperiodo, la temperatura, la calidad del agua y una buena nutrición (Carrillo, Zanuy y Bayarri, 2009). El éxito reproductivo en términos de fertilidad, porcentaje de larvas obtenidas, tasa de crecimiento, supervivencia, resistencia a enfermedades y forma del pez adulto están determinados por las características genéticas de las especies (Perea-Ganchou y col., 2017). Por lo que para el éxito productivo es de suma importancia el determinar y conocer los parámetros reproductivos que posiblemente interfieran en la producción de crías de tilapia *O. niloticus*.

Por lo anterior, el presente documento se enfoca en brindar a partir de una búsqueda exhaustiva y análisis de la información generada en los últimos 20 años, los parámetros reproductivos que tengan

influencia en la producción de crías de tilapia, describiendo de manera general y sencilla los parámetros involucrados y de consideración en actividades de producción de crías de tilapia. De tal forma que contribuya a una orientación de base científica para productores acuícolas, académicos, organismos gubernamentales y público general interesado en el emprendimiento de actividades acuícolas en fases de reproducción, y definir en un futuro estrategias controladas para el éxito de obtención de crías de esta especie acuícola.

2 Método

Se realizó una investigación descriptivo bibliográfica con búsqueda de la información generada en los últimos 20 años incorporada en diversas bases de datos especializadas, como Web of Science, Redalyc, ELSEVIER, SciELO, ACS Publications, Dialnet, Scince.gov, así como en los sitios web de instancias e institutos gubernamentales dentro del ámbito acuícola como la Comisión Nacional de Pesca (CONAPESCA) y el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) de México, y la Organización mundial para la agricultura y alimentación de las naciones unidas (FAO). Se utilizaron como palabras clave de búsqueda: tilapia, tilapia del nilo, *Oreochromis*, reproducción, parámetros reproductivos, reproducción en tilapia, características de la tilapia, fisiología de la reproducción, etc., en idioma español e inglés. Se recopilaron alrededor de 300 documentos de los que se realizó un primer filtrado, quedando 174 documentos de información relacionada o complementaria, los cuales fueron nuevamente filtrados para los parámetros específicos de esta revisión al número dentro de los años seleccionados, resultando en 40.

3 Características de importancia de la tilapia

La tilapia es un pez originario de África, actualmente distribuido en América, Sudeste Asiático, algunos países de Europa e incluso en Australia. Pertenecen a un grupo de peces de Jordania, Israel y África; de momento estas fueron dispersadas, transportadas y adaptadas por casi todas las otras regiones del mundo; fue tal su éxito en el cultivo que rápidamente fueron introducidas en las regiones

tropicales y subtropicales de diversos países (Zimmermann, 2005). En México, la tilapia fue introducida en 1964 proveniente de los Estados Unidos de América, la cual fue reproducida hasta presentarse en casi todas las zonas del país (INAPESCA, 2018). Se ha vuelto una de las especies más cultivadas a nivel mundial por su tolerancia a las variaciones ambientales, lo que le ha permitido desarrollarse en aguas poco oxigenadas, dulce o salada.

Tiene un crecimiento rápido, alta capacidad reproductiva y adaptación para vivir en condiciones de cautiverio, así como en altas densidades de cultivo, además de brindar una carne de excelente calidad nutricional, buen sabor, poca espina y de precio accesible (Oso, Ayodele y Fagbuaro, 2006; Vega-Villasante y col., 2009).

Normalmente habita en lugares donde la temperatura puede oscilar entre los 31 a 36°C, lo que es ideal para la crianza de esta especie (INAPESCA, 2018; FAO, 2022). Es posible desarrollar su cultivo en intervalos de 20 hasta 30°C, pero en temperaturas menor a 15°C o superiores a los 40°C puede dejar de desarrollarse o hasta morir (Saavedra Martínez, 2006; FAO, 2022). Otro de los factores que influyen en la supervivencia es el pH, el cual puede ser óptimo para la especie si se encuentra en un intervalo de valor de siete y ocho; si este valor se encuentra a condiciones de pH iguales o menores de cinco, se genera un ambiente perjudicial para estos peces (INAPESCA, 2018).

En cuanto al oxígeno disuelto en agua, los valores óptimos se encuentran en un intervalo de cinco a seis mg/L, mientras que entre dos y tres mg/l pudiera afectar gravemente a su crecimiento; y valores iguales o menores de uno son críticos que pueden causar la muerte. Mientras que para la turbidez se recomienda mantener una visibilidad a los 30 cm de profundidad (Saavedra Martínez, 2006).

Su crecimiento es acelerado llegando a 500-680g en seis a nueve meses según el sistema de cultivo utilizado (Noriega-Salazar y col., 2020; FAO, 2022). A nivel mundial, es uno de los peces más estudiados, tanto en su ciclo de vida como en su tipo de nutrición, hábitos alimenticios, tipo de reproducción, resistencia a enfermedades, así como su manejo, lo que facilita su proliferación y manipulación en los sistemas de cultivo (Saavedra Martínez, 2006; FAO, 2022). Las tilapias del género *Oreochromis* tienen una

dieta omnívora, lo que hace posible que ingieran desde algas hasta pequeños organismos acuáticos, pasando por raíces, zooplancton, insectos, bacterias, entre otras cosas (Vega-Villasante y col., 2009).

Al contar con branquioespinas se facilita también el proceso de filtrado, lo que permite ingerir el alimento (Nasrin y col., 2021). Al engullir sus alimentos estos deben pasar por la faringe del pez, en ese lugar son triturados por los dientes faríngeos, para que después se pueda seguir con el proceso de digestión (Yem y col., 2020). El tipo de alimentación en los cultivos pueden ser muy variados, ya que la tilapia puede ser alimentada por insumos muy versátiles, alcanzando rendimientos anuales de entre 5 toneladas/ha o más (FAO, 2022).

4 Aspectos y parámetros reproductivos

4.1 Caracteres reproductivos de la tilapia de *O. niloticus*

En cuanto al dimorfismo sexual los machos presentan dos orificios ubicados en la zona caudal que se componen del ano y el orificio urogenital, mientras que la hembra posee tres orificios cerca de la zona caudal, estos serían el ano, el poro genital y el orificio excretor de la orina u orificio urinario (Hussain, 2004; Saavedra Martínez, 2006). En los machos su orificio urogenital es un punto diminuto, y en las hembras su orificio urinario es microscópico; una buena forma de diferenciar los géneros sexuales de las tilapias consiste en saber identificar en la hembra el poro genital, el cual se encuentra ubicado en una hendidura, posicionada de una manera perpendicular al eje del cuerpo (Saavedra Martínez, 2006) (Figura 1).

La madurez sexual se ha identificado a una edad de cinco a seis meses, y aunque esto también está relacionado con el peso se sabe que la madurez sexual en tilapias puede ser alcanzada desde los 30g, en un intervalo de dos a cuatro meses, siempre que las condiciones ambientales sean favorables. En el caso particular de las hembras una vez alcanzadas la talla para su madurez pueden realizar desoves de ocho a 12 veces por año, siempre que la temperatura y demás condiciones lo permitan (INAPESCA, 2018).

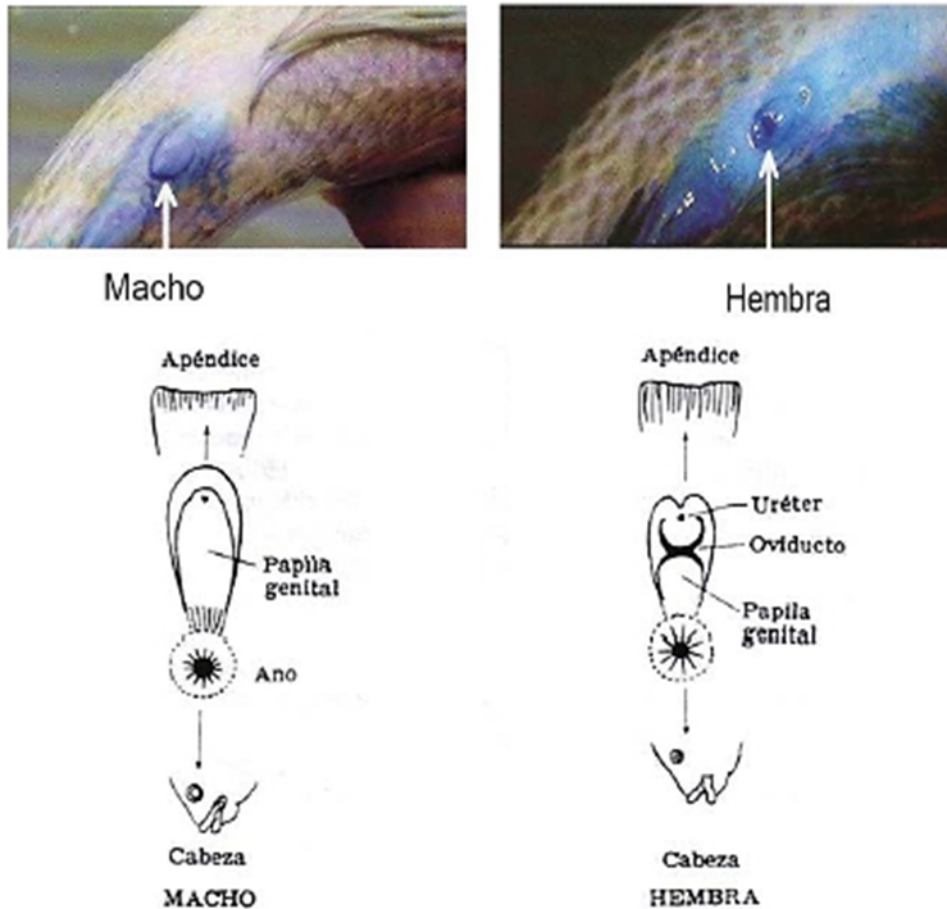


Figura 1. Características morfológicas externas del dimorfismo sexual de *O. niloticus* (Huet, 1998; Saavedra Martínez, 2006).

El desove generalmente comienza cuando la temperatura alcanza aproximadamente los 24°C, sin embargo, la reproducción en ambientes naturales se lleva a cabo cuando el macho primero establece un área y crea un hoyo en forma de cráter para implementar su nido. Una vez logrado esto se dedica a vigilar el nido, hasta que la hembra llega a desovar, para que el macho fertilice los huevos puestos por la hembra, y una vez que estos han sido fertilizados por el macho, la hembra coloca los huevecillos dentro de su boca (incubación bucal) para después marcharse con ellos (Vega-Villasante y col., 2009).

La hembra mantiene en su boca los huevecillos para incubarlos hasta que después de una o dos semanas aproximadamente estos eclosionan (INAPESCA, 2018). Una vez que las crías salen de

los huevecillos pueden salir de la boca de la madre, aunque si se ven amenazados por algún peligro, estos tienden a entrar nuevamente (INAPESCA, 2018; FAO, 2022).

El número, volumen y tamaño de huevos que puede llegar a desovar una hembra depende del tamaño de la madre. Se estima que una hembra con un peso de hasta 100g podrá desovar un aproximado de 100 huevos, pero si su peso aumenta en un intervalo de 600 hasta los 1000g, el número de huevos que puede desovar aumentaría de 1000 a 1500 (Perdomo y col., 2020; FAO, 2022). En condiciones de cultivo la reproducción no difiere, los machos pueden alcanzar su madurez sexual entre los cuatro a seis meses, mientras que las hembras entre los tres y cinco meses.

Tabla 1. Estudios de Parámetros reproductivos de tilapia (*O. niloticus*) y su relación con las variables ambientales, edad de los peces, Fecundidad absoluta (Fa), Fecundidad relativa (Rf), Oxígeno disuelto (OD), Chlorophyll a (Chl a), Peso de las Gónadas (Pg), Peso Total del Cuerpo (Ptc) y índice gonadosomático (GSI).

Autor/es:	Parámetros reproductivos estudiados	Método	Aportación
Costa y Carvalho (2012)	1-GSI	1-Efecto de variables fisicoquímicas y ambientales. 2.-Correlación de Spearman para detectar relaciones con las variables fisicoquímicas medidas	1-Los valores de GSI estaban relacionados positivamente con el pH, OD, conductividad, transparencia del agua y con Chl a. Los valores de GSI presentaron una respuesta al ciclo hidrológico en el embalse, con un retraso de dos meses para los aumentos y disminuciones de los valores.
Massako y col. (2015)	1-Frecuencia de desove 2-Número de huevos por desove	1-Verificación in situ una vez por semana y modelo estadístico que arrojaba los huevos/hembra, según las edades de las hembras (1, 2 y 3 años). 2-Volumetría.	1-La frecuencia de desove fue mayor en hembras de 3 años, con un total de 3,49; mientras que, las hembras de 2 años solo tuvieron un valor de 0,80 en el sitio 2, y de 1,53 en el sitio 1. 2-Las hembras de 1 año con menor número de huevos (13,435 y 16,105 huevos) que las de 2 años (43,395 y 24,650 huevos).
Abarike y Ampofo-Yeboah (2016)	1-GSI 2-Desarrollo de Gónadas 3-Fecundidad	1-Se realizó la siguiente fórmula: $GSI = Pg / Ptc * 100$. 2-Observación directa. 3- Se calculó la Fecundidad vs la longitud del cuerpo utilizando la relación Fecundidad-Longitud Total	1-El GSI más alto se registró a mayor temperatura. 2-Solo el 20% de las hembras fue cargada, y se identificaron las siguientes etapas en su ovada: -Inmaduro (blanco) = 7,14% enero 2007, Madurando (amarillo) = 7,14% marzo 2007, Maduro (verde profundo) = 50% abril 2007, Gastado (Rojo, flácido) = 35,7% marzo 2007. 3-0% de fecundidad en los meses frías (nov-feb). 4- La correlación entre fecundidad vs longitud corporal fue mayor que la correlación fecundidad vs peso corporal; la fecundidad media fue de 173 ovocitos.
Siëfo y col. (2018)	1-Fecundidad 2-GSI	1-Fa: Número de ovocitos en ovarios. 1-Fr: Relación entre la fecundidad absoluta y el peso corporal total de la muestra. 2-GSI: Relación entre el peso de las gónadas y el peso corporal eviscerado.	1-La fecundidad absoluta promedio fue 412 y osciló entre 174 y 593. La fecundidad relativa osciló entre 3 y 9 ovocitos por gramo de peso corporal, con una media de 6 ovocitos / g. 2-El porcentaje más elevado de GSI para hembras ocurrió entre los meses más cálidos (abril y julio).
Teame, Zebib y Meresa (2018)	1-Tamaño de primera madurez 2-GSI 3-Fecundidad	1-Observación directa 2-Se calculó como el porcentaje del peso de las gónadas con respecto al peso total del pescado 3-Conteo directo y análisis estadístico	1-El macho sexualmente maduro más pequeño midió 14cm, y la hembra midió 12,5cm. La madurez sexual en machos (50%) fue a una talla de 15cm, y en hembras a una talla de 14cm. 2-Machos y hembras siguieron casi la misma tendencia; los machos tuvieron valores promedio más altos en el mes de julio y las hembras en agosto. Se registraron dos picos de valores de GSI en hembras durante los meses de febrero y agosto, lo que indica que las hembras se pueden reproducir más de una vez al año 3-Se estimó para 30 hembras con una talla total de 14cm hasta 37cm, y con un peso de 78,8 a 711g. El número total de huevos osciló entre 399 y 2129, la fecundidad osciló 104 a 709 huevos correspondientes a peces con tallas de 12,5 a 20,9cm. La fecundidad osciló entre 243 a 847 huevos por pez.
Tessemá y col. (2019)	1-Fecundidad 2-GSI	1-Fa se determinó gravimétrica y estadísticamente con ANOVA de 2 vías 2-Relación talla-peso de los peces	1-La Fa promedio fue de 217 huevos/pez y se correlacionó positivamente con la longitud total, el peso total y el peso de las gónadas. 2-Los valores de GSI de machos y hembras fueron más altos en abril y más bajos en febrero. El valor promedio más alto en hembras fue de 2,6 en abril, y de 0,7 para machos en el mismo mes

Tabla 2. Estudios de parámetros reproductivos y su relación con las dietas implementadas en tilapia (*O. niloticus*) y su relación con las características genéticas, Número Relativo de Huevos (NRH), Índice de desove (ID, Fecundidad absoluta (Fa) y Fecundidad relativa (Rf).

Autor/es:	Parámetros reproductivos estudiados	Método	Resultados
Quóc y col. (2013)	1-Fr 2-Tasa de fertilización	1-Se utilizaron hembras de la generación 12 de la estirpe GIFT de tilapia en el delta del Mekong de Vietnam, donde fueron repartidas en 4 experimentos nombrados como "FAM" (Familia), "MM" (Múltiples Machos y Múltiples Hembras), "SM-1" (Un solo macho y Múltiples hembras) con una repetición llamada "SM-2" 2-Fr se calculó mediante el número total de huevos por hembra/Peso corporal de las hembras desovadas 3-La Tasa de Fertilización se calculó como $100 \times \frac{\text{número total de huevos fertilizados por hembra}}{\text{número total de huevos por hembra}}$	1-Las hembras en MM y SM-1 en promedio tuvieron los valores más altos de Fr 2-En general, la tasa de fertilización fue buena, oscilando entre 77 y 87%.
Bizarro y col. (2019)	1-GSI	1-Se utilizaron 150 alevines de <i>O. niloticus</i> GIFT expuestos a diferentes intensidades lumínicas. 1-El GSI se calculó mediante el peso de las gónadas/el peso corporal*100	1-El GSI no tuvo mucha variación con respecto al fotoperiodo
Silva y col. (2020)	1-Fa y Fr 2-ID 3-Tasa de eclosión 4-NRH	1-Se utilizaron tilapias de la variación "Aqua América" y tilapias "GIFT", realizando una cruce entre ellas, para originar 4 experimentos con las siguientes tilapias: Aqua América no endogámica, Aqua América endogámica, GIFT y Aqua América×GIFT 2-Fa se calculó con el número de huevos por desove, mientras que Fr se calculó con el número de huevos por desove/g peso de la hembra 3-El ID se calculó con el peso total de huevos por desove en g / peso de la hembra en $g \times 100 \%$ 4-La Tasa de eclosión se calculó con número de larvas eclosionadas en la muestra / número total de huevos y larvas en la muestra] $\times 100 \%$ 5-El NRH se calculó con el número de huevos/g de huevos	1-Los valores más altos de Fa se encontraron en el grupo genético Aqua América×GIFT, teniendo un valor de 7084,3; mientras que el grupo genético con el valor más bajo se encontró en GIFT, teniendo un valor de 2581,1. Los valores de Fr más altos se encontraron en el grupo genético Aqua América×GIFT, teniendo un valor de 5,4; y el valor más bajo se encontró en el grupo genético GIFT, obteniendo un valor de 2,2 2-El valor más alto y bajo de ID fueron 3,0 y 0,9 respectivamente, y se encontraron en los grupos genéticos de Aqua América×GIFT y Aqua América endogámica, respectivamente 3-El valor más alto y bajo de Tasa de eclosión fue de 99,2 y 93,0 respectivamente, perteneciendo a los grupos genéticos Aqua América no endogámica y Aqua América×GIFT, respectivamente 4-El valor más alto y bajo de NRH fue de 247,6 y 168,8 respectivamente, y se encontraron en los grupos genéticos de Aqua América no endogámica y Aqua América×GIFT. 5-La Fa, Fr, ID y la tasa de eclosión no difirieron significativamente entre los grupos genéticos

4.2 Evaluación reproductiva

La reproducción es un mecanismo que utilizan los seres vivos para mantener la prevalencia de su especie, cada organismo tiene sus respectivas estrategias de reproducción, y su éxito depende de los

rasgos reproductivos de cada individuo, los cuales están estipulados por la genética que cada uno de ellos. En el caso particular de los peces en cultivo, la reproducción está definida principalmente por las condiciones ambientales locales e infraestructura disponible (FAO, 2022).

Tabla 3. Estudios de parámetros reproductivos y su relación con las dietas implementadas en tilapia (*O. niloticus*), Peso Total de Huevos por Hembra (PTHH), Número de Huevos por Gramo (NHG), Índice de desove (ID), Supervivencia Durante el Período Lecitotrófico (SPDL), Peso Corporal (PC), Fecundidad absoluta (Fa) y Fecundidad relativa (Rf).

Autor/es:	Parámetros reproductivos estudiados	Dieta	Método	Aportación
Moraes y col. (2014)	1-Fa y Fr 2-Diámetro de huevo 3-Capacidad de supervivencia de las larvas en ayunas	5 raciones con proteína cruda a 32, 34, 36, 38 y 40%, uno por cada respectivo tratamiento	1-Para calcular el Fa se contó el número de huevos por desove, y para la Fr se contó el número total de huevos por gramo de peso corporal de la hembra 2-Se midieron 100 huevos de cada tratamiento, utilizando un microscopio estereoscópico con ocular micrométrico. 3-Se recolectaron 2000 larvas de 3 días por tratamiento para evaluar el efecto de las raciones suministradas a los reproductores en el tiempo de supervivencia de las crías en ayunas.	1-Los valores de Fa y Fr más altos se encontraron en la dieta de 38% de proteína cruda, y los más bajos en la dieta de 32%. 2-Los valores de diámetro de huevo más altos se encontraron en la dieta de 38% de proteína cruda, y los más bajos en la dieta de 32%. 3-El valor más alto de la capacidad de supervivencia de larvas en ayunas estuvo en la dieta con 38% de proteína cruda, mientras que el valor más bajo se encontró en la dieta con 32% de proteína cruda
Mehrim, Khalil y Hassan (2015)	1-Fa y Fr 2-Número de huevos	8 tratamientos con una hidrolevadura de marca comercial con 0, 5, 10 y 15g de hidrolevadura/kg dieta, de machos y hembras.	1-Fa se calculó utilizando la siguiente ecuación: $Fa = PTHH (g) * NHG$, y Fr se calculó usando la siguiente ecuación: $Fr = Fa / PC (g)$. 2-El número de huevos se contó por gramo de huevos y luego se relacionó con el peso del ovario o el peso corporal de los peces.	1-El Fa y el Fr fue más alto en el tratamiento con ración basal + 10 g de hidrolevadura/kg dieta para hembras, teniendo un valor de $3416,6 \pm 97,95$ y $20,6 \pm 1,13$ respectivamente. 2-El número de huevos de igual manera fue más alto en el tratamiento con ración basal + 10 g de hidrolevadura/kg dieta con un valor de $325,00 \pm 14,43$, mientras que el valor más bajo fue de $250,00 \pm 28,86$ en el tratamiento de ración basal + 15g de hidrolevadura/kg dieta.

La fecundidad en peces es uno de los datos más importantes para su reproducción en cautiverio, ya que con esta información es posible determinar la cantidad de huevos que una hembra puede producir, es decir, se emplea para calcular el potencial reproductor de una población de peces y la supervivencia desde el huevo hasta el reclutamiento; mientras que la fertilidad ayuda a conocer cuántos de los huevos producidos pueden llegar a desarrollarse y ser un cría, por lo tanto, la fertilidad es la capacidad

de las hembras y los machos para poder concebir crías viables (FAO, 2022; Zimmermann, 2005).

Otro dato importante en la reproducción de peces es la tasa de eclosión, con lo que es posible conocer el potencial que tienen los reproductores para producir huevos viables, en sí, la tasa de eclosión hace referencia a cuantos de los huevos producidos y fertilizados pueden llegar a eclosionar, ya que muchas veces los huevos pueden ser afectados por di-

versas variables, comprometiendo su viabilidad, lo que impide la eclosión (Anene y Okorie, 2008; Aba-rike y Ampofo-Yeboah, 2016).

Tabla 4. Continuación de la Tabla 3. Estudios de parámetros reproductivos y su relación con las dietas implementadas en tilapia (*O. niloticus*).

Autor/es:	Parámetros reproductivos estudiados	Dieta	Método	Aportación
Orlando y col. (2017)	1-Fa y Fr 2-ID	5 dietas con diferentes niveles de energía digestible (3200, 3400, 3600, 3800 y 4000 kcal/kg)	1-Fr se calculó con el número de huevos por gramo de peso de la hembra, y Fa se calculó con el número total de huevos por desove. 2-El ID se calculó con el peso de desove por gramo de peso de la hembra.	1-Los valores de Fa fueron más altos con la dieta de 4000 kcal/kg teniendo un valor de 449,32±13,48, y el valor más bajo se encontró en la dieta de 3400kcal/kg con un valor de 348,50±10,00. En Fr el valor más alto estuvo en la dieta con 4000kcal/kg con un valor de 6,57±0,23, mientras que el valor más bajo se encontró en la dieta con 3400kcal/kg, y tuvo un valor de 5,10±0,15. 2-El valor más alto de ID se encontró en la dieta con 4000kcal/kg y el más bajo en la dieta con 3400kcal/kg, los valores fueron 9,43±1,23 y 5,48±0,35, respectivamente.
Sarmiento y col. (2018)	1-Fa y Fr 2-SDPL 3-Tasa de eclosión 4-Producción media de huevos por hembra	Se implementaron dietas con concentraciones de suplementación de vitamina C a0, 261, 599 y 942 mg/kg de dieta.	1-Fa se calculó con el número de huevos en el desove, Fr se calculó con el número de huevos/peso de la hembra(g). 2-El SDPL se calculó con el número total de larvas después de 120 h/número de larvas después de la eclosión*100 3-La Tasa de eclosión se calculó con el número de larvas eclosionadas/número total de huevos*100 4- La producción media de huevos por hembra se calculó con el número de huevos por lote/número de hembras desovadas.	1-El valor más alto de Fa se encontró en la dieta con 942 mg/kg de dieta y tuvo un valor de 892,7±352,19, mientras que el valor más bajo se encontró en el control (0 mg/kg de dieta) con un valor de 622,6±192,18. El valor más alto de Fr se encontró en la dieta con 599 mg/kg de dieta, y tuvo un valor de 10,09±2,93, mientras que el valor más bajo se encontró en el control, y tuvo un valor de 3,61±1,56.2-El SPDL tuvo el valor más alto en la dieta con 599 mg/kg de dieta 3-El valor más alto de tasa de eclosión correspondió a la dieta de 942 mg/kg de dieta 4-La producción media de huevos por hembra tuvo un valor más alto en la concentración de 599 mg/kg de dieta.

Dentro de los grandes retos en la acuicultura es poder controlar de manera eficaz la reproducción, ya que muchas veces este proceso fisiológico tiene un carácter estacional marcado, el cual es interpretado por sistemas sensoriales específicos que culminan en una cascada hormonal mediado por

parte del sistema endocrino (Carrillo, Zanuy y Bayarri, 2009). La meta es que la reproducción se de en el lugar y en el momento más favorable para la supervivencia de la progenie, pero en casi todos los casos donde la reproducción que se da en un sistema artificial tiende a ser aleatorio por la falta

de control de algún componente (Navas, 2009). Los principales inconvenientes a los que se enfrentan en este proceso son los cambios de las condiciones ambientales naturales del que provienen o para lo cual están programados y no son tan controlables en los sistemas de producción.

Una de las alternativas para conocer las condiciones en las que se lleva a cabo la reproducción en peces son las evaluaciones reproductivas, esto se refiere a tratar de entender los requerimientos medioambientales y biológicos de los peces, mediante estudios y experimentos para garantizar su sana reproducción, y así generar un número óptimo de gametos viables que promuevan la fertilización para que la embriogénesis pueda ser lograda, culminando así en la eclosión de los huevos que darán origen a la progenie (Carrillo, Zanuy y Bayarri, 2009). Estas tienen un gran número de aplicaciones que deben considerar no solo la parte reproductiva, sino también la parte nutricional para evitar enfermedades o malformaciones que se pudieran dar por una desnutrición que participe de manera directa o indirecta en los procesos de reproducción, desarrollo y supervivencia (Navas, 2009).

En las evaluaciones reproductivas se consideran principalmente los factores físicos y químicos que limitan su desarrollo, como la alimentación, el número de individuos que debe haber en una población para evitar el estrés ocasionado por una alta densidad de siembra, la calidad del agua, la inocuidad de cultivo; también se deben considerar los factores biológicos como la fisiología del pez, su comportamiento en relación a individuos de su misma especie o de una especie diferentes, entre otros (Elgaml y col., 2019).

Dentro de la reproducción de una especie se debe considerar su valor comercial o de conservación, ya que satisfacer los requerimientos que un pez necesita para lograr la reproducción puede ocasionar una disminución en la ganancia y/o se tiene que tener una proyección de la inversión que se necesita y asegurar la rentabilidad del cultivo. Esto se puede estimar relacionando las cualidades de los peces como la fertilidad, fecundidad, tasa de supervivencia de larvas y alevines, así como el número de huevos por desove, lo que puede dar una estimación del número de crías que se pudieran originar después de la reproducción de los peces; así como la talla

estimada que estos pudieran alcanzar, logrando garantizar un nivel de producción óptimo según los objetivos económicos estipulados para el cultivo, lo que podría impulsar que se incrementen las ganancias.

En cuando al aspecto de conservación, la evaluación reproductiva pudiera impactar de una manera benéfica para rescatar a una especie en peligro de extinción o bajo categoría de conservación especial, y al hacer una evaluación reproductiva se puede ayudar a las proyecciones para lograr los objetivos (Mair y col., 1997; Anene y Okorie, 2008; Peña y col., 2010; Alvarenga y col., 2017).

4.3 Panorama de las evaluaciones y estudios de los parámetros reproductivos

Se han realizado investigaciones sobre aspectos reproductivos como la fecundidad, la tasa de supervivencia, el número y tamaño de huevos por puesta, así como el índice gonadosomático (GSI, por sus siglas en inglés) entre otros, en los cuales se encuentran variables ambientales o la edad (Tabla 1), las cualidades genéticas (Tabla 2), la dieta (Tablas 3 y 4) o la calidad del agua (Tabla 5).

Para poder garantizar una buena producción de tilapia es necesario conocer las funciones reproductivas de los peces, para ello es ineludible saber qué variables fisicoquímicas y biológicas afectan a su reproducción. En México y el mundo los productores acuícolas se ven limitados en tecnología y conocimiento para poder regular estas variables, y así poder optimizar la reproducción (Alvarenga y col., 2017).

Los parámetros reproductivos de *O. niloticus* cambian según las variables a las que están expuestas, y dependiendo de la magnitud de la variable los parámetros reproductivos pueden verse afectados de una manera negativa o positiva. Un ejemplo es la edad, donde según lo reportado por Massako y col. (2015) las hembras de 3 años tuvieron una mayor frecuencia de desove que las de 2 años; esto difiere un poco según lo reportado por Tsadik Getinet (2008), el cual menciona que la vida media de los reproductores en tilapias puede ser de hasta 3 años, por lo que se esperaría que entre más viejos fueran los reproductores los parámetros reproductivos irían en decadencia, pero no es así.

Tabla 5. Estudios en parámetros reproductivos en tilapia (*O. niloticus*) y su relación con la calidad del agua, Fecundidad absoluta (Fa), Fecundidad relativa (Rf) y índice gonadosomático (ID).

Autor/es:	Parámetros reproductivos estudiados	Método	Resultados
Zulfahmi y col. (2018)	1-GSI 2-Fa y Fr	1-Exposición a concentraciones de Efluente de fabricación de aceite de palma (Control= 0 mg/L, A= 1,565 mg/L, B= 2,347 mg/L y C= 3,130 mg/L). 2-El GSI se calculó con el peso de las gónadas/el total de peso corporal*100 3-Fa se calculó con el número parcial de huevos en gónadas/peso parcial de las gónadas*peso de las gónadas. Fr se calculó con el peso corporal/número total de los huevos en las gónadas	1-Los valores medios más altos de GSI se encontraron en el tratamiento B(6,007±2,78%). Los valores de GSI tendieron a aumentar en los tratamientos A y B en comparación con el tratamiento control, luego disminuyeron en el tratamiento C (2,446±0,46%). No hubo diferencias significativas entre los valores de GSI para el control del tratamiento, el tratamiento A y el tratamiento B. 2-El promedio más alto del valor de Fa se obtuvo en el tratamiento A(520±254 huevos), mientras que el valor más bajo fue en el tratamiento B(307±57 huevos). Aunque el valor de Fa para el tratamiento C fue más alto que el del tratamiento B; sin embargo, el tratamiento C tiene una Fr más baja que el tratamiento B. La exposición a Efluente de fabricación de aceite de palma no reveló diferencias significativas en Fa y Fr.

En cuanto a su relación con la nutrición, los reportes indican que una alimentación nutritiva y bien balanceada favorece en gran medida las cualidades reproductivas en la tilapia y a su vez mejora la salud, previniendo algunas enfermedades, aunque un exceso de nutrientes en las dietas pudiera reducir los parámetros reproductivos, esto tiene sentido ya que (Chong, Ishak y Hashim, 2004) menciona que las dietas con alto contenido de proteínas pueden ser benéficas para los procesos relacionados con la reproducción de los peces, siempre que este se encuentre bien balanceado.

A su vez, un gran número de huevos no siempre quiere decir un mayor número de peces, ya que la fecundidad y fertilidad, así como la tasa de eclosión dependen también de las características genéticas (Sun y col., 2009). La selección artificial ha demos-

trado ser una pieza clave para mejorar la reproducción en los peces, así como aspectos relacionados con la producción acuícola; sin embargo, esto no siempre puede ser infalible, ya que como menciona Camero-Escobar y Calderón-Calderón (2018), la implementación de nuevas tecnologías sin supervisión, como lo es la selección artificial, pudiera tener efectos negativos en la descendencia de los peces y en detrimento de los sistemas de producción.

Tener una buena calidad de agua es parte fundamental en la reproducción de la tilapia, más en muchas ocasiones las fuentes donde se obtiene el agua para el cultivo de peces se ven comprometidas por contaminantes que afectan tanto la salud, así como su reproducción, por eso es importante tener una buena calidad de agua libre de contaminantes (El-gaml y col., 2019), ya que este es uno de los recursos

fundamentales en la acuicultura, de manera que si se cuenta con un buen suministro de agua limpia se puede evitar la pérdida de peces por contaminantes o alguna otra sustancia que pudiera contener el agua, y así se vea comprometida su calidad (Gerbron y col., 2014).

5 Conclusiones

El conocimiento de los parámetros reproductivos de la tilapia puede ayudar a disminuir los costos de producción y aunque no existe como tal un parámetro reproductivo más importante que otro pues se trata de un cúmulo de factores y sinergia que intervienen en la reproducción, es necesario establecer planes de manejo claro e investigación particular en los sistemas de producción para mejorar y potencializar su producción. La evaluación de los parámetros reproductivos de la tilapia *O. niloticus* puede ayudar a disminuir los gastos de producción al momento de invertir en un cultivo, ya que al tener conocimiento de los requerimientos de la especie se puede obtener un mejor resultado en el producto de esta fase. Se sugiere realizar mayores investigaciones para evaluar los parámetros reproductivos, pues aún no se tiene el suficiente respaldo, datos duros y la interacción de las variables que intervienen en el proceso.

Referencias

- Abarike, E. y A. Ampofo-Yeboah (2016). «Reproductive potential of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757) in the Golinga reservoir in Ghana». En: *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 4.5, 279-283. Online: <https://bit.ly/41xMmI2>.
- Alvarenga, É. Ramos de y col. (2017). «Effects of biofloc technology on reproduction and ovarian recrudescence in Nile tilapia». En: *Aquaculture Research* 48.12, 5965-5972. Online: <https://bit.ly/3Lm47TZ>.
- Anene, A. y P. Okorie (2008). «Some aspects of the reproductive biology of *Tilapia mariae* (Boulenger 1901) in a small lake in southeastern Nigeria». En: *African Journal of Biotechnology* 7.14, 2478-2482. Online: <https://acortar.link/YKQqCt>.
- Bizarro, Y. Saldanha y col. (2019). «Photoperiodic effects in blood glucose, cortisol, hematological parameters and reproductive indexes of GIFT lineage reversed male tilapia». En: *Bioscience Journal* 35.6, 1915-1922. Online: <https://acortar.link/SNd54J>.
- CONAPESCA (2018). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2018*. Inf. téc. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Camero-Escobar, G. y H. Calderón-Calderón (2018). «Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva para la producción de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) en el departamento del Huila, Colombia». En: *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación* 9.1, 19-31. Online: <https://acortar.link/yAYwr9>.
- Carrillo, M., S. Zanuy y M. Bayarri (2009). «El control ambiental de la reproducción de los peces con especial referencia al control del ciclo sexual, de la pubertad y de la precocidad». En: *Publicaciones científicas y tecnológicas de la Fundación Observatorio Español de Acuicultura*. Cap. La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en acuicultura, págs. 173-233.
- Chong, A., Z. Ishak S. and Osman y R. Hashim (2004). «Effect of dietary protein level on the reproductive performance of female swordtails *Xiphophorus helleri* (Poeciliidae)». En: *Aquaculture* 234.1-4, 381-392. Online: <https://bit.ly/3V7qAsm>.
- Costa, J. y E. Carvalho (2012). «Reproduction, food dynamics and exploitation level of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) from artisanal fisheries in Barra Bonita Reservoir, Brazil». En: *Revista de biologia tropical* 60.2, 721-734. Online: <https://acortar.link/B9VSQX>.
- El-Sayed, A. (2016). *Tilapia culture*. CAB Int. Oxfordshire, UK. Online: <https://acortar.link/zinHtL>.
- Elgaml, S. y col. (2019). «Effects of heavy metal pollutants on the reproduction of Nile tilapia». En: *Int j Fish Aquat* 7.5, 542-547. Online: <https://bit.ly/3oDKsqI>.
- FAO (2022). *Oreochromis niloticus*.
- Gerbron, M. y col. (2014). «Evidence of altered fertility in female roach (*Rutilus rutilus*) from the River Seine (France)». En: *Environmental pollution* 191, 58-62. Online: <https://acortar.link/WVWajE>.
- Huet, M. (1998). *Tratado de piscicultura*. Mundi-Prensa.

- Hussain, M.G. (2004). *Farming of tilapia, Breeding Plans, Mass Seed Production and Aquaculture Techniques*. Inf. téc. Bangladesh Fisheries Research Institute, Bangladesh, India. Online: <https://acortar.link/eZnleQ>.
- INAPESCA (2018). *Acuicultura tilapia*.
- Mair, G. y col. (1997). «Genetic manipulation of sex ratio for the large-scale production of all-male tilapia *Oreochromis niloticus*». En: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54.2, 396-404. Online: <https://acortar.link/SeNd0c>.
- Massako, G. y col. (2015). «Reproduction performance of female Nile tilapia under different environments and age classes». En: *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 37, 221-226. Online: <https://acortar.link/ja9Iud>.
- Mehrim, A., F. Khalil y M. Hassan (2015). «Hydroyeast Aquaculture® as a reproductive enhancer agent for the adult Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758)». En: *Fish Physiology and Biochemistry* 41, 371-381. Online: <https://acortar.link/WSJY9O>.
- Moraes, M. y col. (2014). «Effects crude protein levels on female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reproductive performance parameters». En: *Animal Reproduction Science* 150.1-2, 62-69. Online: <https://acortar.link/Sz8g5H>.
- Nasrin S. and Rahman, M. y col. (2021). «Effect of feeding frequency on the growth of GIFT (*Oreochromis niloticus*)». En: *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 9.2, 98-107. Online: <https://acortar.link/v7ruUM>.
- Navas, J. (2009). «La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en acuicultura». En: *Publicaciones científicas y tecnológicas de la Fundación Observatorio Español de Acuicultura*. Cap. Capítulo 8. Los perturbadores endocrinos y sus posibles efectos en la reproducción de peces cultivados, págs. 531-580.
- Noriega-Salazar, A. y col. (2020). «Crecimiento y sobrevivencia de juveniles de tilapia roja con dietas suplementadas de vitaminas C y E». En: *Revista Ciencia UNEMI* 13.34, 16-27. Online: <https://acortar.link/lkyePL>.
- Orlando, T.M. y col. (2017). «Reproductive performance of female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets with different digestible energy levels». En: *Revista Brasileira de Zootecnia* 46, 1-7. Online: <https://acortar.link/EfiWUC>.
- Oso, J., I. Ayodele y O. Fagbuaro (2006). «Food and feeding habits of *Oreochromis niloticus* (L.) and *Sarotherodon galilaeus* (L.) in a tropical reservoir». En: *World Journal of Zoology* 1.2, 118-121. Online: <https://acortar.link/Ap2Zpl>.
- Peña, E. y col. (2010). «Growth, mortality and reproduction of the blue tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) in the Aguamilpa Reservoir, Mexico». En: *Revista de biología tropical* 58.4, 1577-1586. Online: <https://acortar.link/6vYvD6>.
- Perdomo, D. y col. (2020). «Influencia del tamaño, la variedad y la proporción de sexos en la producción de huevos de tilapia (*Oreochromis* spp) en un sistema tropical intensivo al aire libre». En: 31.4, e19037. Online: <https://acortar.link/vZr0nP>.
- Perea-Ganchou, F. y col. (2017). «Factores que afectan el desempeño reproductivo de tilapias del género *Oreochromis* en la zona baja del estado Trujillo, Venezuela». En: *Revista Científica* 27.2, 78-86. Online: <https://acortar.link/tIxIQP>.
- Quóc, T. y col. (2013). «Genetic parameters for reproductive traits in female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): II. Fecundity and fertility». En: *Aquaculture* 416-417, 72-77. Online: <https://acortar.link/x4lds4>.
- Saavedra Martínez, M. (2006). *Manejo del cultivo de tilapia*. Online: <https://acortar.link/gac8mw0>. USAID-CIDEA.
- Sarmento, N. y col. (2018). «Reproductive efficiency and egg and larvae quality of Nile tilapia fed different levels of vitamin C». En: *Aquaculture* 482, 96-102. Online: <https://acortar.link/zD8Dqr>.
- Sièfo, G. y col. (2018). «Some reproductive aspects of *Oreochromis niloticus* (LINNAEUS, 1758) at Pele reservoir, Nakanbé River Basin, Burkina Faso». En: *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 6.4, 124-130. Online: <https://acortar.link/UEDLWs>.
- Silva, A. y col. (2020). «Reproductive traits in different Nile tilapia genetic groups». En: *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 72, 1797-1804. Online: <https://acortar.link/qT5A95>.
- Sun, C. y col. (2009). «Comparison between a sire model and an animal model for genetic evaluation of fertility traits in Danish Holstein population». En: *Journal of Dairy Science* 92.8, 4063-4071. Online: <https://acortar.link/v6pJ3q>.
- Teame, T., H. Zebib y T. Meresa (2018). «Observations on the biology of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., in Tekeze Reservoir, Northern Ethiopia». En: *International Journal of Fisheries and*

- Aquaculture* 10.7, 86-94. Online:<https://acortar.link/InIM0K>.
- Tessema, A. y col. (2019). «Length-weight relationship, condition factor and some reproductive aspects of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Lake Hayq, Ethiopia». En: *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 7.5, 555-561. Online:<https://acortar.link/ak7Tga>.
- Tsadik Getinet, G. (2008). «Effects of maternal age on fecundity, spawning interval, and egg quality of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.)» En: *Journal of the World Aquaculture Society* 39.5, 671-677. Online:<https://acortar.link/zEylZE>.
- Vega-Villasante, F. y col. (2009). *Acuicultura de tilapia a pequeña escala para autoconsumo de familias rurales y periurbanas de la costa del Pacífico*. Universidad de Guadalajara.
- Yem, I. y col. (2020). «Food habit and growth pattern of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* in Wase Dam, Nigeria». En: *Int. J. Fish. Aqua. Stud.* 4, 257-260. Online:<https://acortar.link/1EqatL>.
- Zimmermann, S. (2005). «Reproducción de los peces en el trópico». En: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. Cap. Reproducción de la tilapia, págs. 147-164.
- Zulfahmi, I. y col. (2018). «Reproductive performance and gonad histopathology of female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758) exposed to palm oil mill effluent». En: *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 44.4, 327-332. Online:<https://acortar.link/nOZhYm>.